

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-135514

(43)Date of publication of application : 22.05.1998

H01S 3/18

(72)Inventor : KOIDE NORIKATSU

ASAMI SHINYA  
UMEZAKI JUNICHI  
KOIKE MASAYOSHI  
YAMAZAKI SHIRO  
NAGAI SEIJI

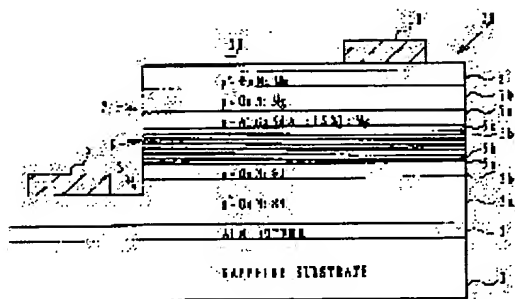
Priority number : 08257819      Priority date : 08.09.1996      Priority country : JP

## (54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To prevent light emitting wavelength from shifting by the disappearance of a surface of a barrier layer which becomes the most upper layer of the light emitting layers when a semiconductor layer such as a clad layer is formed on the light emitting layers having a superlattice structure and by the thinning of barrier layer.

**SOLUTION:** By this method, a semiconductor light emitting element is manufactured by a first semiconductor layer being formed, by light emitting layers 5 with a superlattice structure being formed by laminating a barrier layer made of  $\text{InY}_1\text{Ga}_{1-\text{Y}_1}\text{N}$  ( $\text{Y}_1 \leq 0$ ) and a quantum well layer made of  $\text{InY}_2\text{Ga}_{1-\text{Y}_2}\text{N}$  ( $\text{Y}_2 > \text{Y}_1$  and  $\text{Y}_2 > 0$ ) on the first semiconductor layer and by a second semiconductor layer being formed on the light emitting layers 5. A most upper barrier layer which becomes the most upper layer of the light emitting layers 5 are formed to be thicker than other barrier layers. When the second semiconductor layer is formed, the upper surface of the most upper barrier layer is made to disappear and the thickness of the barrier layer is made to be practically the same as those of other barriers.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.06.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3304787

[Date of registration] 10.05.2002

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-135514

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月22日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-299404

(22) 出願日 平成8年(1996)10月22日

(31) 優先権主張番号 特願平8-257819

(32) 優先日 平8(1996)9月8日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地

(72) 発明者 小出 典克

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 浅見 慎也

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内

(74) 代理人 弁理士 小西 富雅

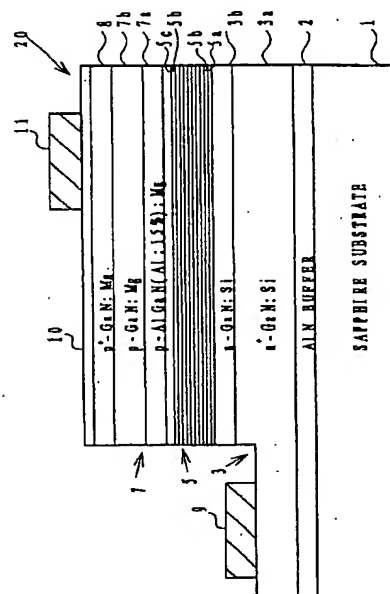
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 超格子構造の発光層の上にクラッド層等の半導体層を形成するとき発光層の最上層にくるバリア層の表面が消失し、当該バリア層が薄くなって発光波長がシフトする。

【解決手段】 第1の半導体層を形成し、該第1の半導体層の上に  $\text{In}_{Y1}\text{Ga}_{1-Y1}\text{N}$  ( $Y1 \geq 0$ ) からなるバリア層、 $\text{In}_{Y2}\text{Ga}_{1-Y2}\text{N}$  ( $Y2 > Y1$  かつ  $Y2 > 0$ ) からなる量子井戸層を積層して超格子構造の発光層を形成し、該発光層の上に第2の半導体層を形成する半導体発光素子の製造方法において、前記発光層の最上層となる最上バリア層を他のバリア層よりも厚く形成する。そして、第2の半導体層を形成するとき、最上バリア層の上面を消失させてその厚さを他のバリア層の厚さと実質的に同一とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 n伝導型のGa<sub>1-x</sub>Ny<sub>1-y</sub>Al<sub>1-x-y</sub>N (Y<sub>1</sub>≧0) からなる第1の半導体層と、

該第1の半導体層の上に形成され、意図的な不純物がドーピングされていないIn<sub>1-x</sub>Y<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (Y<sub>1</sub>≧0) からなるバリア層、意図的な不純物がドーピングされていないIn<sub>1-x</sub>Y<sub>2</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (Y<sub>2</sub>>Y<sub>1</sub>かつY<sub>2</sub>>0) からなる量子井戸層を積層してなる超格子構造の発光層と、

該発光層の上に形成され、p伝導型のAlGa<sub>1-x</sub>Nからなる第2の半導体層と、を含み、

前記発光層において前記第1の半導体層及び前記第2の半導体層と接する層が前記バリア層であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 Al<sub>1-x</sub>In<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (X=0、Y=0、X=Y=0を含む) からなる第1の半導体層を形成するステップと、

該第1の半導体層の上に、In<sub>1-x</sub>Y<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (Y<sub>1</sub>≧0) からなるバリア層、In<sub>1-x</sub>Y<sub>2</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (Y<sub>2</sub>>Y<sub>1</sub>かつY<sub>2</sub>>0) からなる量子井戸層を積層して超格子構造の発光層を形成するステップと、

該発光層の上にAl<sub>1-x</sub>In<sub>y</sub>BGa<sub>1-x-y</sub>N (A=0、B=0、A=B=0を含む) からなる第2の半導体層を形成するステップと、を含んでいる半導体発光素子の製造方法において、

前記発光層の最上層となる最上バリア層を他のバリア層よりも厚く形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項3】 前記第2の半導体層を形成するとき、前記最上バリア層の上面を消失させ、該最上バリア層の厚さを他のバリア層の厚さと実質的に同一とすることを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項4】 三族窒化物からなる第1の半導体層と、該第1の半導体層の上に、三族窒化物半導体からなるバリア層及び量子井戸層を積層してなる超格子構造の発光層と、

該発光層の上に三族窒化物からなる第2の半導体層と、を含んでいる半導体発光素子において、

印加電流を5～50 mAの範囲で変化させたとき、発光のピーク波長の変化が10 nm以下であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項5】 前記5～50 mAの印加電流に対し、前記発光のスペクトルの半値幅が60 nm以下であることを特徴とする請求項4に記載の半導体発光素子。

【請求項6】 前記発光層の前記バリア層は意図的な不純物がドーピングされていないIn<sub>1-x</sub>Y<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (Y<sub>1</sub>≧0) からなり、前記量子井戸層は意図的な不純物がドーピングされていないIn<sub>1-x</sub>Y<sub>2</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (Y<sub>2</sub>>Y<sub>1</sub>かつY<sub>2</sub>>0) からなり、前記発光層において前記第1の半導体層及び前記第2の半導体層と接する層が前記バリア層であることを特徴とする請求項4又は5に記載の半導体発光

素子。

【請求項7】 前記バリア層はGa<sub>1-x</sub>Nからなることを特徴とする請求項6に記載の半導体発光素子。

【請求項8】 前記第2の半導体層は厚さが20～100 nmのマグネシウムがドーピングされたp伝導型のAlGa<sub>1-x</sub>Nからなることを特徴とする請求項4ないし7のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項9】 前記第1の半導体層はn伝導型のGa<sub>1-x</sub>Nからなることを特徴とする請求項8に記載の半導体発光素子。

【請求項10】 前記量子井戸層の膜厚が3～5 nmであることを特徴とする請求項1、6及び7のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項11】 三族窒化物半導体からなるバリア層及び量子井戸層を積層してなる超格子構造の発光層を有する半導体発光素子において、

前記発光層の量子井戸層の膜厚が3～5 nmであることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項12】 前記量子井戸層はInGa<sub>1-x</sub>Nからなり、前記バリア層はGa<sub>1-x</sub>Nからなることを特徴とする請求項11に記載の半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は半導体発光素子及びその製造方法に関する。この半導体発光素子は例えば発光ダイオードやレーザダイオードとして利用できる。

【0002】

【従来の技術】 可視光短波長領域の発光素子として化合物半導体を用いたものが知られている。中でもIII族窒化物半導体は直接遷移型であることから発光効率が高くかつ光の3原色の1つである青色を発光することから、昨今特に注目を集めている。

【0003】 このような発光素子のひとつとして、サファイア基板の上に、AlN製のバッファ層、第1のクラッド層、発光層及び第2のクラッド層を順に積層して形成されたものがある。ここに、第1及び第2のクラッド層はAl<sub>1-x</sub>In<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (X=0、Y=0、X=Y=0を含む) からなる。発光層は例えばIn<sub>1-x</sub>Y<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (Y<sub>1</sub>≧0) からなるバリア層、In<sub>1-x</sub>Y<sub>2</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (Y<sub>2</sub>>Y<sub>1</sub>かつY<sub>2</sub>>0) からなる量子井戸層を繰り返し積層して形成した超格子構造である。これら半導体層は有機金属化合物気相成長法（以下、「MOVPE法」という。）により、定法に従い形成される。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 このような超格子構造の発光層は、バリア層と量子井戸層との間で組成の違いに急峻性が求められるため、比較的低い成長温度で形成される。また、一般的に、バリア層はそれぞれが同じ厚さになるように形成され、同様に各量子井戸層もそれぞれが同じ厚さになるように形成される。これは、各層の

厚さに違いがあると、量子効果により、量子井戸層から発生する光が波長の点で微妙に変化するおそれがあるからである。一方、発光層の上に形成される第2のクラッド層はその厚さ（バリア層や量子井戸層より厚い）や組成の関係から、発光層よりも高い温度で形成される。本発明者らはこのようにして半導体発光素子を製造するとき、以下の課題のあることに気が付いた。

【0005】超格子構造の発光層において、各クラッド層に接する層が量子井戸層であると、以下の課題が生じる。クラッド層がp伝導型の場合これに量子井戸層が連続していると、クラッド層とバリア層とではエネルギー順位が異なるので、当該量子井戸層のいわゆる井戸の深さが他の量子井戸層のそれと比べて異なることとなる。従って、光の波長がシフトするおそれがある。また、クラッド層がn伝導型の場合これに量子井戸層が連続していると、クラッド層のエネルギー順位は量子井戸層のそれより低いため、当該量子井戸層においていわゆる井戸が形成されなくなり、そこでの発光が期待できなくなる。

【0006】

【課題を解決するための手段】かかる課題を解決するため、請求項1に記載の発明によれば、n伝導型のGaNからなる第1の半導体層と、該第1の半導体層の上に形成され、意図的な不純物がドーブされていない $\text{In}_{Y1}\text{Ga}_{1-Y1}\text{N}$  ( $Y1 \geq 0$ ) からなるバリア層、意図的な不純物がドーブされていない $\text{In}_{Y2}\text{Ga}_{1-Y2}\text{N}$  ( $Y2 > Y1$  かつ  $Y2 > 0$ ) からなる量子井戸層を積層してなる超格子構造の発光層と、該発光層の上に形成され、p伝導型の $\text{AlGaInN}$ からなる第2の半導体層と、を含む半導体発光素子において、発光層の各クラッド層に接する層をバリア層とすることとした。即ち、発光層の構成を、バリア層—量子井戸層—…—量子井戸層—バリア層とした。なお、この明細書において第1の半導体層及び第2の半導体層にはクラッド層若しくは光ガイド層が該当する。また、バリア層及び量子井戸層等の半導体層を成長させるときのバックグラウンドに起因する不純物は意図的な不純物に該当しない。

【0007】しかしながら、本願発明者が更に検討を重ねたところ、以下の課題が更に見つかった。即ち、超格子構造の発光層の上に第2のクラッド層を形成すると、発光層の最上層にくるバリア層（以下、「最上バリア層」という。）が薄くなることである。これは、第2のクラッド層の形成温度が最上バリア層の形成温度よりも高いため、第2のクラッド層形成時に最上バリア層の材料がその上面から飛ばされてしまうためと考えられる。最上バリア層が薄くなると量子効果により光の波長が短波長側にシフトするので好ましくない。また、バリア層が薄く（例えば厚さ数nm）設計されていた場合、最上バリア層が実質的に存在しなくなるおそれもある。

【0008】このような課題を解決するため、請求項2に記載の発明によれば、 $\text{Al}_X\text{In}_Y\text{Ga}_{1-X-Y}\text{N}$  ( $X =$

0、 $Y = 0$ 、 $X = Y = 0$ を含む）からなる第1の半導体層を形成するステップと、該第1の半導体層の上に、 $\text{In}_{Y1}\text{Ga}_{1-Y1}\text{N}$  ( $Y1 \geq 0$ ) からなるバリア層、 $\text{In}_{Y2}\text{Ga}_{1-Y2}\text{N}$  ( $Y2 > Y1$  かつ  $Y2 > 0$ ) からなる量子井戸層を積層して超格子構造の発光層を形成するステップと、該発光層の上に $\text{Al}_A\text{In}_B\text{Ga}_{1-A-B}\text{N}$  ( $A = 0$ 、 $B = 0$ 、 $A = B = 0$ を含む）からなる第2の半導体層を形成するステップと、を含んでいる半導体発光素子の製造方法において、発光層の最上層となる最上バリア層を他のバリア層よりも厚く形成する。

【0009】請求項3に係る発明によれば、上記請求項2に記載の発明において、前記第2の半導体層を形成するとき、前記最上バリア層の上面を消失させ、該最上バリア層の厚さを他のバリア層の厚さと実質的に同一とする。

【0010】更にこの発明は、印加電流が変化しても発光する光のピーク波長が実質的に変化しない半導体発光素子を提供することを目的とする。この目的は、請求項4～10に記載の発明により達成される。

【0011】この発明の他の目的は、波長の分布が狭い、即ち理想的な単色光に近い光を発光する半導体発光素子を提供することにある。この目的は請求項5ないし10に記載の発明により達成される。

【0012】この発明の他の目的は、発光効率が高く、強い発光を示す超格子構造の活性層を有する半導体発光素子を提供することにある。この目的は、請求項10～12に記載の発明により達成される。

【0013】

【発明の作用・効果】請求項1に記載の発明によれば、発光層において第1の半導体層及び第2の半導体層と接する層がバリア層となるので、各半導体層に最も近い量子井戸層においてもいわゆる量子井戸の形、即ちポテンシャルの窪みが他の量子井戸層と実質的に同じとなる。よって、各量子井戸から放出される光の波長は実質的に等しくなる。また、請求項1に記載の発明によれば、n伝導型のGaNからなる第1の半導体層の上に発光層の $\text{In}_{Y1}\text{Ga}_{1-Y1}\text{N}$ からなるバリア層が結晶成長される。バリア層におけるInの組成比は0若しくは量子井戸層に比べて比較的小さいので、その組成はGaNからなる第1の半導体層に近く、もって発光層の結晶に歪みが入り難くなる。

【0014】請求項2に記載の発明によれば、最上バリア層が他のバリア層よりも厚く形成されるので、第2の半導体層を形成するとき当該最上バリア層の表面の材料が消失しても、その全体が実質的に存在しなくなることはない。そのためには、勿論、第2の半導体層の形成時に消失する厚さを見越して最上バリア層の厚さが設計される。

【0015】請求項3に記載の発明によれば、第2の半導体層形成後、最上バリア層の厚さが他のバリア層の厚

さと同じとなるように、第2の半導体層の形成時に消失する厚さを見越して最上バリア層の厚さが設計される。これにより、超格子構造の発光層において各バリア層の厚さが実質的に同一となり、量子効果による波長のシフトを未然に防止できることとなる。

【0016】請求項4ないし10に記載の発明によれば、印加電流が変化しても半導体発光素子から放出される光のピーク波長が実質的に変化しない。

【0017】請求項5ないし10に記載の発明によれば、半導体発光素子から放出される光において波長の分布が狭くなる。即ち、理想的な単色光に近い光が半導体発光素子から発光される。

【0018】請求項10ないし12に記載の発明によれば、超格子構造の発光層における発光効率が高く、発光強度が大きくなる。

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を実施例に基づき更に詳細に説明する。

#### 【0019】第1実施例

この実施例の半導体発光素子は青色発光ダイオードである。図1に実施例の発光ダイオード20の断面図を示す。

【0020】厚さ100 $\mu\text{m}$ のサファイア基板1のa面上に厚さ20nmのAlNからなるバッファ層2が形成されている。このバッファ層2の膜厚は20～50nmとすることができ、膜の成長温度は400℃である。

【0021】バッファ層2の上にはn伝導型の半導体層3が2層に形成されている。このn層3は、下から、厚さ2.5 $\mu\text{m}$ のシリコンが高濃度にドーブされたn<sup>+</sup>-Ga<sub>0.99</sub>N層3a(キャリア密度:2 $\times 10^{18}/\text{cm}^3$ )と厚さ0.5 $\mu\text{m}$ のシリコンがドーブされたn-Ga<sub>0.99</sub>N層3b(第1のクラッド層(第1の半導体層)、キャリア密度:2 $\times 10^{17}/\text{cm}^3$ )とで構成される。

【0022】このn層3はAl<sub>x</sub>In<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X=0、Y=0、X=Y=0を含む)からなる化合物半導体で形成することができる。このn層3を1層から構成することもできる。

【0023】n層3の上には超格子構造の発光層5が形成されている。発光層5は厚さ3.5nm意図的な不純物がドーブされていないGa<sub>0.99</sub>Nからなるバリア層5aと厚さ3.5nmの意図的な不純物がドーブされていないIn<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.84</sub>Nからなる量子井戸層5bを繰り返し積層した構成である。この実施例では繰り返し数を5とした。そして、最上上に形成されるバリア層5cは厚さが3.5nmの意図的な不純物がドーブされていないGa<sub>0.99</sub>Nからなる。

【0024】上記において、バリア層5aと量子井戸層5bの繰り返し数は特に限定されるものではない。バリア層5a、5cはIn<sub>y1</sub>Ga<sub>1-y1</sub>N(Y<sub>1</sub>≥0)からなる化合物半導体、量子井戸層5bはIn<sub>y2</sub>Ga<sub>1-y2</sub>N(Y<sub>2</sub>>Y<sub>1</sub>かつY<sub>2</sub>>0)からなる化合物半導体でそ

れぞれ形成することができる。最上バリア層5cの厚さを他のバリア層5aの厚さと実質的に等しくすることが、量子効果の影響を排除することから、好ましい。バリア層5a、5c及び量子井戸層5bにはこれへ不純分をドーブすることもできる。

【0025】本発明者らの検討によれば、量子井戸層5bの膜厚を3～5nmとしたとき、発光層から強い発光の得られることがわかった。該検討を以下に説明する。実施例の素子において、量子井戸層の膜厚を10nm、7nm、5nm及び3nmと変化させ、それらの発光強度を測定する。なお、バリア層の膜厚も量子井戸層の膜厚と同じになるよう変化させる。発光強度は電解発光(electroluminescence、単位;a.u.)の強度である。本発明者らの検討によれば、量子井戸層の膜厚が10nmのときの発光強度に対して、量子井戸層の膜厚を7nmとすると約10倍の発光強度が得られ、同じく膜厚を5nmとすると約60倍、膜厚を3nmとすると約150倍の発光強度がそれぞれ得られた。以上の結果から、バリア層をノンドーブトGa<sub>0.99</sub>Nとし、量子井戸層をノンドーブトIn<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.84</sub>Nとしたとき、量子井戸層の膜厚を3～5nmとすることが好ましいことがわかる。バリア層の厚さは3nm以上とすることが好ましい。

【0026】この実施例では発光層5において第1のクラッド層3bと接する層がバリア層5aであり、p伝導型の第2のクラッド層7と接する層が最上バリア層5cとされる。従って、各クラッド層に最も近い量子井戸層5bにおいてもいわゆる量子井戸の形、即ちポテンシャルの窪みが他の量子井戸層と実質的に同じとなる。よって、各量子井戸層から発生する光の波長は実質的に等しくなる。

【0027】発光層5の上にはバリア層5aよりも広いバンドギャップを持つ第2のクラッド層(第2の半導体層)7が2層に形成されている。この第2のクラッド層7は、下から、厚さ30.0nmのマグネシウムがドーブされたp-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N層7a(キャリア密度:1～2 $\times 10^{17}/\text{cm}^3$ )と厚さ75.5nmのマグネシウムがドーブされたp-Ga<sub>0.99</sub>N層7b(キャリア密度:2 $\times 10^{17}/\text{cm}^3$ )とで構成される。Alを含むクラッド層7aはその膜厚を20nm以上とすることが好ましい。20nm未満ではヘテロバリアによる電子の閉じ込め効果が弱くなる。このクラッド層7aを100nmを超えて厚くする必要はない。

【0028】この第2のクラッド層7はAl<sub>x</sub>In<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X=0、Y=0、X=Y=0を含む)からなる化合物半導体で形成することができる。この第2のクラッド層7を1層から構成することもできる。

【0029】第2のクラッド層7の上には厚さ25.0nmのマグネシウムがp-Ga<sub>0.99</sub>N層7bより高濃度にドーブされたGa<sub>0.99</sub>N層8(キャリア濃度:1 $\times 10^{17}/$

cm<sup>3</sup>) が形成されている。この層は電極に対するコンタクト抵抗を下げるために設けられる。このGa<sub>0.85</sub>N層8の膜厚は20~50nmとすることが好ましい。この膜厚が20nmに満たないとコンタクト層の効果が弱くなり抵抗が高くなる。また、この膜厚を50nmを超えて厚くする必要はない。

【0030】電極パッド9はAl、Ti又はこれらを含む合金からなる。符号10は透明電極でありGa<sub>0.85</sub>N層8の上にそのほぼ全面に渡って形成される。透明電極10の上に電極パッド11が形成される。透明電極10及び電極パッド11の形成材料として、Au、Pt、Pd、Ni又はこれらを含む合金が挙げられる。

【0031】次に、実施例の発光ダイオード20の製造方法を説明する。発光ダイオードの各半導体層はMOVPE法により形成される。この成長法においては、アンモニアガスとIII族元素のアルキル化合物ガス、例えばトリメチルガリウム(TMG)、トリメチルアルミニウム(TMA)やトリメチルインジウム(TMI)とを適当な温度に加熱された基板上に供給して熱分解反応させ、もって所望の結晶を基板の上に成長させる。なお、キャリアガス、アンモニアガス及びIII族元素のアルキル化合物ガスの流量、反応時間は目的とする結晶に応じて適宜調節する。

【0032】まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とする単結晶サファイア基板1を図示しない気相反応装置内のサセプタに装着する。次に、常圧でN<sub>2</sub>を当該反応装置に流しながら温度1100℃でサファイア基板1を気相エッチングする。

【0033】次に、温度を400℃まで低下させて、N<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>及びTMAを供給して基板上にAlNのバッファ層2を約20nmの厚さに形成する。

【0034】次に温度を上げて、N<sub>2</sub>、シラン、TMG、NH<sub>3</sub>を導入し、n伝導型の半導体層において下側の層3aを形成し、更にシランの流量を下げて上側の層3bを形成する。

【0035】続いて、温度を900℃に保持し、N<sub>2</sub>、TMG、NH<sub>3</sub>を導入して厚さ3.5nmのGa<sub>0.85</sub>Nからなるバリア層5aを形成する。次に温度を750℃に保持し、N<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、TMG及びTMIを導入して厚さ3.5nmのIn<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.84</sub>Nからなる量子井戸層5bを形成する。これを繰り返して、図に示すとおり、それぞれ5層のバリア層5aと量子井戸層5bを得る。反応時間を調整することによりバリア層5a及び量子井戸層5bの膜厚が調節される。

【0036】温度を900℃に保持し、N<sub>2</sub>、TMG、NH<sub>3</sub>を導入して厚さ14.0nmのGa<sub>0.85</sub>Nからなる最上バリア層5cを5段目の量子井戸層5bの上に形成する。既述のとおり、第2のクラッド層7を形成するときこの最上バリア層5cはその上面が消失する。この実施例では、当初14.0nmあった最上バリア層5cが、

第2のクラッド層形成後、3.5nmとなった。最上バリア層5cは、第2のクラッド層形成後、他のバリア層5aと同じ厚さ、即ち3.5nmとなるように形成することが好ましい。

【0037】次に、温度を1000℃に保持し、N<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、TMG、TMA、CP<sub>2</sub>Mgを導入し、膜厚30nmのマグネシウムがドーピングされたp-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなる層7aを形成する。次に、温度を1000℃に保持し、N<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、TMG、CP<sub>2</sub>Mgを導入して厚さ75.0nmのマグネシウムがドーピングされたp-GaN層7bを形成し、もって第2のクラッド層7とする。

【0038】層7bの形成に引き続き、温度を1000℃に維持したまま、CP<sub>2</sub>Mgの流量を変えて最上層8を形成する。

【0039】この状態で第2のクラッド層7と最上層8は半絶縁性を示す。そこで、電子線照射装置を用いて、第2のクラッド層7及び最上層8へ一様に電子線を照射する。電子線の照射条件は、例えば、加速電圧約10kV、試料電流1μA、ビーム移動速度0.2mm/sec、ビーム径60μmφ、真空度5.0×10<sup>-5</sup>Torrである。このような電子線照射によって第2のクラッド層7及び最上層8は所望のp伝導型となる。

【0040】このようにして形成された半導体ウエハを周知の方法でエッチングして、図1に示した半導体層構成とする。そして、電極パッド9を半導体層3aの上へ蒸着により形成し、続いて金製の透明電極10を最上層8の上に蒸着し、更に金製の電極パッド11を蒸着する。

【0041】このようにして形成された半導体ウエハを素子毎に切り分けて、所望の青色発光ダイオード20とする。

【0042】本発明者らの検討によれば、上記構成の実施例の素子には下記の特性が認められた。図2は素子に印加する順方向電流を変化させたときの発光スペクトルの変化を示す。図3は図2の発光スペクトルを解析したものであって、素子に印加する順方向電流を変化させたときのピーク波長及び半値幅の変化を示す。

【0043】これらの図からわかるように、素子に印加する電流を変化させてもピーク波長は実質的に変化しない。即ち、電流を5~100mAの範囲で変化させてもピーク波長はほぼ445~450nmの範囲に収まっている。素子に対する実用的な印加電流を考慮すれば、順方向に印加される電流は5~50mAの範囲にあり、この範囲で電流を変化させたときのピーク波長の変化は10nm以下、更に詳しくはほぼ5nm以下である。特に、電流が20~50mAの範囲でピーク波長は殆ど変化しない。

【0044】一方、一般的な発光素子では、印加される電流が大きくなると、即ち印加される電圧が高くなる



と、ピーク波長は短波長側にシフトする。その理由は次のように考えられる。ヘテロ構造の発光層を構成する半導体層には不純物が含まれている。このような半導体素子では印加される電圧が大きくなると、半導体層の最低のエネルギー準位にあったキャリアが発光層に含まれる不純物の形成するエネルギー準位に持ち上がる。この不純物の形成する準位は半導体層の最低のエネルギー準位よりも高いので、このキャリアが再結合することにより放出される光の波長は短波長側へシフトする。同様に、単一の量子井戸層を持つ発光層では、印加する電圧を高くすると、量子井戸の最低のエネルギー準位にあったキャリアが量子井戸においてより上位のエネルギー準位に持ち上げられる。従って、このキャリアが再結合することによって放出される光の波長は短波長側にシフトする。

【0045】一方、この実施例の半導体発光素子によれば、発光層に不純物がドーピングされていない。更には、量子井戸層が複数（実施例では5層）あるので量子井戸の最低準位にあるキャリアは、高い電圧がかけられたとき、量子井戸内でより上位のエネルギー準位へ持ち上げられる代わりに、前後に（図では上下に）連続する他の量子井戸内において空きのある最低エネルギー準位又は比較的低いエネルギー準位へ優先的にトンネルする。これにより短波長側への波長シフトが防止されると推定される。なお、波長シフトを防止する見地から、量子井戸層の数を3～7とすることが好ましい。

【0046】このように電流の大きさを変化させてもピーク波長が実質的に一定であると、発光素子の特性上好ましい。

【0047】発光スペクトルの半値幅も印加する電流（5～100mA）に無関係に実質的に一定であり、60nm以下である。実用的な印加電流の範囲（5～50mA）では半値幅の変化が更に小さく、印加電流の範囲を20～50mAとすると半値幅の変化はより一段と小さくなる。半値幅が一定であることから、各量子井戸層において同じエネルギー準位にあるキャリアの再結合が発光に寄与していると考えられる。

【0048】このように、印加電流の変化に拘わらず、発光スペクトルの半値幅が60nm以下に維持されることは、発光される光の波長の分布が狭く、発光が理想的な単色光により近づいていることを意味する。これにより色純度の高い発光素子が得られることとなる。

【0049】第2実施例

この実施例の半導体発光素子は緑色発光ダイオードである。この実施例の発光ダイオードは、上記第1実施例の発光ダイオードにおいて量子井戸層の組成が $\text{In}_{0.23}\text{Ga}_{0.77}\text{N}$ とされている。即ち、第1実施例に比べてInの組成が大きくなっている。このような量子井戸層はTMIの流量を大きくすること等により、第1実施例と同様にして形成される。

【0050】本発明者らの検討によれば、上記構成の実

施例の素子には下記の特性が認められた。図4は素子に印加する順方向電流を変化させたときの発光スペクトルの変化を示す。図5は図4の発光スペクトルを解析したものであって、素子に印加する順方向電流を変化させたときのピーク波長及び半値幅の変化を示す。

【0051】これらの図からわかるように、素子に印加する電流を変化させてもピーク波長は実質的に変化しない。即ち、電流を5～100mAの範囲で変化させてもピーク波長はほぼ515～520nmの範囲に収まっている。素子に対する実用的な印加電流を考慮すれば、順方向に印加される電流は5～50mAの範囲にあり、この範囲で電流を変化させたときのピーク波長の変化は10nm以下、更に詳しくはほぼ5nm以下である。電流の範囲が20～50mA、更には20～100mAのとき、ピーク波長はほぼ515nmにあって殆ど変化しない。

【0052】発光スペクトルの半値幅も印加する電流（5～100mA）に無関係に60nm以下、更に詳しくは35nm以下である。実用的な印加電流の範囲（5～50mA）では半値幅は殆ど変化せず、印加電流の範囲を20～50mAとすると半値幅の変化はより一段と小さくなる。

【0053】この発明は上記発明の実施の形態及び実施例の記載に何ら限定されるものではなく、特許請求の範囲を逸脱しない範囲で、当業者が想到し得る種々の変形態様を包含する。この発明がレーザダイオードにも適用できることは勿論である。

【0054】以下次の事項を開示する。

(1)  $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x=0$ ,  $y=0$ ,  $x=y=0$ を含む) からなる第1の半導体層と、該第1の半導体層の上に、 $\text{In}_{y1}\text{Ga}_{1-y1}\text{N}$  ( $y1 \geq 0$ ) からなるバリア層、 $\text{In}_{y2}\text{Ga}_{1-y2}\text{N}$  ( $y2 > y1$ かつ $y2 > 0$ ) からなる量子井戸層を積層してなる超格子構造の発光層と、該発光層の上に $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x=0$ ,  $y=0$ ,  $x=y=0$ を含む) からなる第2の半導体層と、を含んでいる半導体発光素子において、前記発光層において前記第1の半導体層及び前記第2の半導体層と接する層が前記バリア層であることを特徴とする半導体発光素子。

【0055】前記第2の半導体層に接するバリア層はその厚さが他のバリア層より厚いことを特徴とする(1)に記載の半導体発光素子。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1はこの発明の実施例の発光ダイオードの断面図である。

【図2】図2はこの発明の一の実施例の発光ダイオードにおいて電流を変化させたときの発光スペクトルの変化を示す図である。

【図3】図3は同じく電流を変化させたときのピーク波長の変化及び半値幅の変化を示す図である。



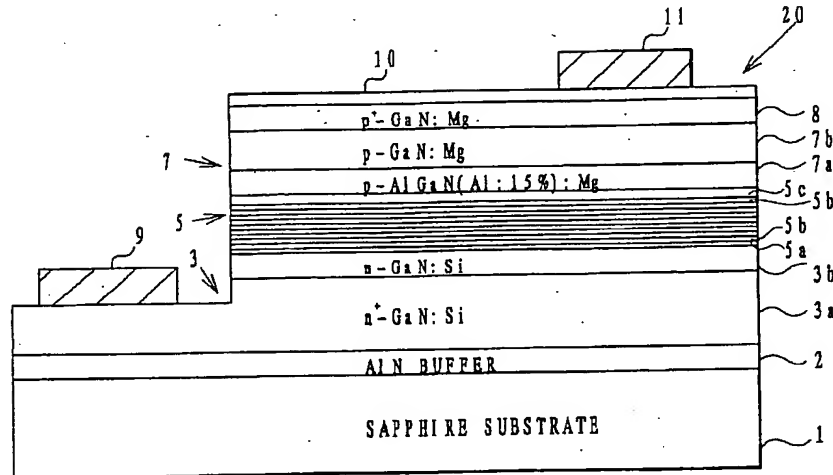
【図4】図4はこの発明の他の実施例の発光ダイオードにおいて電流を変化させたときの発光スペクトルの変化を示す図である。

【図5】図5は同じく電流を変化させたときのピーク波長の変化及び半値幅の変化を示す図である。

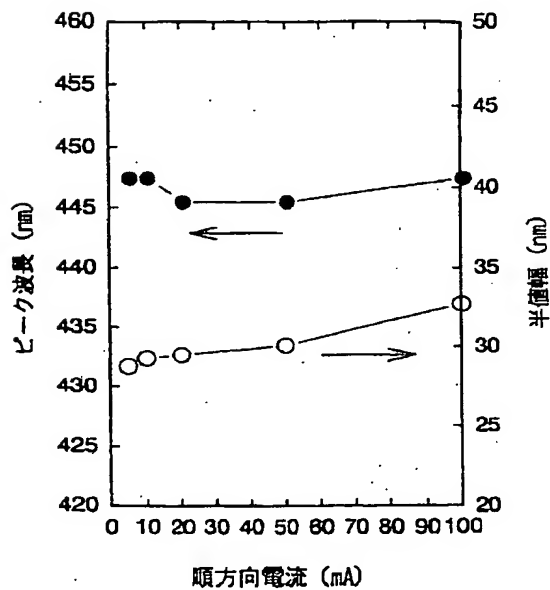
【符号の説明】

- 1 サファイア基板
- 2 バッファ層
- 3 b 第1のクラッド層(第1の半導体層)
- 5 発光層
- 7 第2のクラッド層(第2の半導体層)
- 20 発光ダイオード

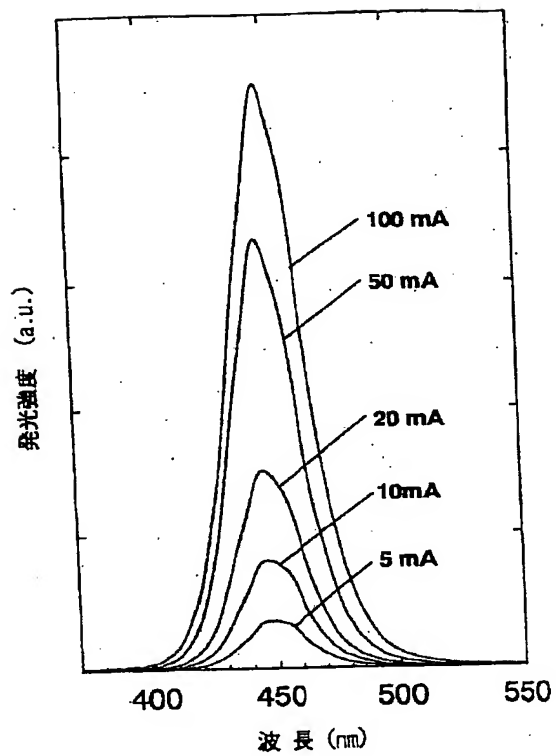
【図1】



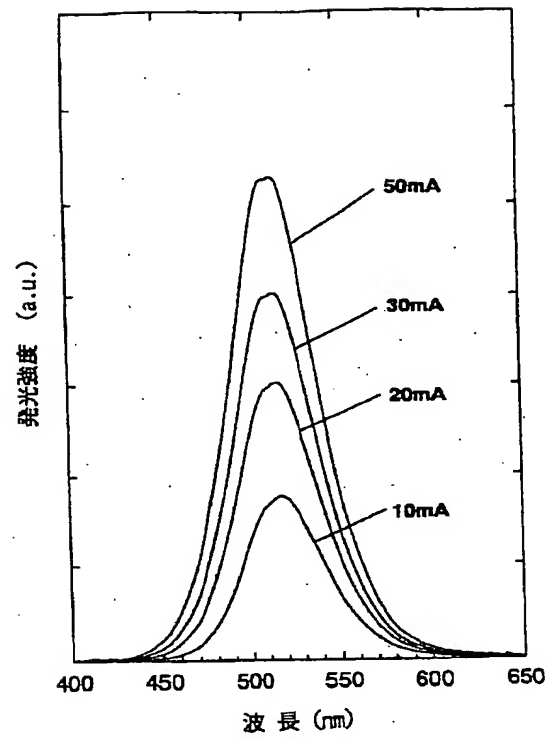
【図3】



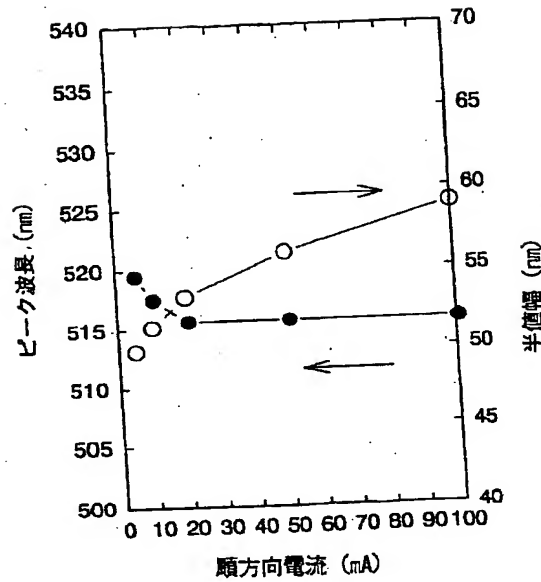
【図2】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 梅崎 潤一  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内  
(72)発明者 小池 正好  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 山崎 史郎  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内  
(72)発明者 永井 誠二  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内